

VERFAHREN UND VORRICHTUNG ZUM LESEN VON TIEFEN-BARCODES MITTELS OPTISCHER INTERFERENZ

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Lesen eines sich in die Tiefe eines Trägers erstreckenden Barcodes mittels optischer Interferenz, wobei der Barcode durch einen Bereich mit Markierungen in dem für elektromagnetische Strahlung teildurchlässigen Träger repräsentiert wird.

Ein gewöhnlicher, meist gedruckter, Barcode bestehend aus einer Mehrzahl parallel angeordneter Striche oder Balken („Bars“) zur maschinenlesbaren Artikelidentifikation ist allgemein bekannt. Unter einem Tiefen-Barcode soll nun ein solcher verstanden werden, bei dem die Bars nicht auf oder parallel zur Oberfläche des markierten Trägers angeordnet sind, sondern senkrecht zur Oberfläche untereinander in verschiedenen Tiefenebenen des Trägermaterials.

Zur beispielhaften Erläuterung wird ein Teilvolumen des Trägers (Substrats) mit charakteristischer Breite D (z.B. Kantenlänge, Durchmesser) und Höhe H (Höhe senkrecht zur Substratoberfläche) als Markierungsbereich betrachtet, der den Tiefen-Barcode aufweist. Der Bereich kann in N Schichten der jeweils gleichen Dicke dH unterteilt werden, so dass $N \cdot dH = H$. Jede einzelne Schicht kann nun markiert sein oder nicht, wobei die Markierung wenigstens in einer Änderung der optischen Eigenschaften gegenüber dem unmarkierten Substrat besteht, welche die Rückstreuung bzw. Reflexion von Licht wenigstens in einem – vorzugsweise nicht-ionisierenden – Spektralbereich beeinflusst. Ermittelt man alle Positionen der markierten Schichten mit einer Auflösung besser als die Schichtdicke dH , so ergibt sich hieraus ein Barcode der Länge N Bit.

25

Vorteilhaft bei der Verwendung von Tiefen-Barcodes ist die Möglichkeit, eine größere Zahl von Tiefen-Barcodes auf Trägern mit begrenzter Oberfläche unterzubringen, da ein einzelner Barcode nur eine (Querschnitts-)Fläche der Größenordnung $D^2 < 1000 \mu\text{m}^2$ benötigt. Dies ermöglicht beispielsweise das Aufzeichnen zusätzlicher Probeninformationen oder einer ausführlichen Analyse-Historie auf einen Probenträger. Ordnet man eine Mehrzahl von Tiefen-Barcodes bevorzugt so nebeneinander an, dass geradlinige Bewegungen des Lesege-
räts oder des Trägers das sequentielle Lesen der Barcodes ermöglichen, so lassen sich große Datenmengen in einfacher Weise auf wenig Raum speichern (1000 Tiefen-Barcodes pro

30

Quadratmillimeter). Dabei bleiben die einzelnen Lesevorgänge voneinander unabhängig. Insbesondere können die Tiefen-Barcodes zu verschiedenen Zeiten und mit verschiedenen Schreibgeräten aufgezeichnet worden sein.

- 5 Ein weiterer Vorteil von Tiefen-Barcodes liegt in der erhöhten Manipulationssicherheit. Mit dem bloßen Auge erscheint ein Tiefen-Barcode im sichtbaren Bereich als indifferenter „trüber Fleck“. Er kann ohne ein Lesegerät im Gegensatz zum konventionellen Barcode überhaupt nicht erkannt und in einen Ziffernstring übersetzt werden. Man benötigt also mindestens geeignete Gerätschaften zum Lesen und Schreiben, um spezifische Manipulationen
- 10 durchführen zu können, was oft schon an den damit verbundenen Kosten scheitern dürfte.

Verfahren zum Schreiben derartiger Tiefen-Barcodes können sehr unterschiedlich ausgelegt sein. Beispielsweise können Etiketten aus einer Vielzahl übereinander geklebter Filmschichten unterschiedlicher Transparenz oder Brechzahl angefertigt werden, wobei die Abfolge

15 der Transparenzwechsel den Barcode enthält. Bei Halbleitern oder anderen Kristallsubstraten könnte der Barcode während des epitaktischen Wachstums durch kontrollierte Änderung des bereitgestellten Materials oder der Wachstumsbedingungen vorgegeben werden.

Eine besonders interessante Möglichkeit zur Anfertigung vollkommen fälschungssicherer –

20 weil unreproduzierbarer – Tiefen-Barcodes besteht im Einrühren von Streupartikeln in eine aushärtende, optisch transparente Matrix, z.B. Gießharz. Die einmal fixierte, genau zu vermessende Verteilung der Streuer im Markierungsbereich stellt einen einmaligen Code dar, der sich nicht durch gleichartiges Vorgehen exakt kopieren lässt. Mögliche Anwendungen solcher einmaliger „Nummernschilder“ liegen in der unverwechselbaren Kennzeichnung

25 von Geräten, deren Bewegungs- und Verwendungsspielraum strengen Kontrollen unterworfen wird, wie etwa militärischen Fahrzeugen und Waffensystemen.

Für Glasträger bietet sich die so genannte Innengravur mit Laserlicht an. Dabei werden mit kurzzeitigen Laserlichtblitzen genau lokalisierte Volumina in wählbarer Tiefe unter der

30 Glasoberfläche so beschädigt, dass das Substrat in diesen Volumina wesentlich an Transparenz verliert. Bereits heute lassen sich so mit dem Auge sichtbare Symbole in das Glas gravieren, ohne die Glasoberfläche in Mitleidenschaft zu ziehen. Anwendungen dieser Technik liegen in der Kennzeichnung und Archivierung biologischer und medizinischer Proben

z.B. für das „High Throughput Screening“ (HTS), die nicht durch Ablagerungen auf einer gravierten Oberfläche kontaminiert werden dürfen.

Unabhängig von den Einzelheiten des Schreibvorgangs stellt sich die Aufgabe, einen in einem Markierungsbereich auf einem Träger geschriebenen Tiefen-Barcode schnell und mit geringem apparativem Aufwand wieder auszulesen. Dies ist zugleich die Aufgabe der Erfindung.

Diese Aufgabe wird gelöst durch die Merkmale des Anspruchs 1. Die Unteransprüche betreffen vorteilhafte Weiterbildungen bzw. eine Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens.

Zur Durchführung des Verfahrens mit möglichst geringem apparativem Aufwand – und damit preiswert – bieten sich vor allem Interferometer an, die ohne bewegte Teile auskommen.

Eine erste geeignete Meßmethode besteht in einer Variante der „Optical Coherence Tomography“ (OCT), die z.B. in der WO 02/084263 beschrieben wird. OCT-Systeme wurden speziell für tiefenaufgelöste Strukturuntersuchungen entwickelt und arbeiten üblicherweise nach dem Prinzip eines Michelson-Interferometers. Dabei wird Licht kurzer Kohärenzlänge in eine Probe eingestrahlt und aus verschiedenen Schichttiefen der Probe unterschiedlich stark zurückgestreut bzw. reflektiert. Sieht man z.B. die Probenoberfläche als den Spiegel des Referenzarms im Michelson-Interferometer an, so kann das rückgestreute bzw. reflektierte Licht in Proben- und Referenzlicht aufgeteilt und in einer Analyseeinheit zur Interferenz gebracht werden. Aus dem dabei entstehenden Interferenzmuster kann auf die Laufzeitverteilung des Probenlichts geschlossen werden, und somit auf das Streu- bzw. Reflexionsvermögen der verschiedenen Schichttiefen $S(z)$ in der Probe.

Ein zweites geeignetes Verfahren ist dem Fachmann aus der DE 43 09 056 A1 auch unter der Bezeichnung „Spektralradar“ bekannt. Dabei wird Licht aus einer breitbandigen Lichtquelle in der Probe in einer Ebene mit Abstand z zu einer Referenzebene ($z=0$) gestreut und mit rückgestreutem Licht aus der Referenzebene überlagert. Es kommt so zu konstruktiver oder destruktiver Interferenz für einen beliebigen, festen Abstand z der Ebenen je

nachdem, welche der eingestrahnten Wellenlängen λ man betrachtet. Sind eine Mehrzahl von Ebenen mit Abständen aus einem Intervall $[z_1, z_2]$ zur Referenzebene an der Rückstreuung beteiligt, so ist die Ausgangsintensität $I(\lambda)$ als Integral über dieses Intervall aufzufassen. Bei Verwendung breitbandigen Lichts, z.B. aus einer Superlumineszenzdiode, wird
5 das Interferenzlicht spektral zerlegt und üblicherweise auf eine Photodiodenzeile oder eine vergleichbare Vorrichtung abgebildet. Dies erlaubt das Messen der Verteilung $I(k)$, $k=2\pi/\lambda$ als räumliche Verteilung auf der Sensorzeile. Eine Fouriertransformation dieser Verteilung führt in einem Rechenschritt auf das tiefenabhängige Streu- bzw. Reflexionsvermögen $S(z)$.

- 10 Die genannten Interferometer verwenden eine definierte Ebene der Probe – i. a. die Probenoberfläche – als Strahlteiler und Spiegel für das Referenzlicht. Beim Lesen von Tiefenbarcodes ist dies besonders zu bevorzugen, schon weil ein zu diesem Zweck eigens gefertigter Träger, z.B. ein Etikett, ohne weiteres mit einer hierfür optimalen Beschichtung ausgestattet werden kann. In manchen Fällen kann es jedoch vorteilhaft sein, einen Referenzlicht-
15 spiegel außerhalb des Trägers zu verwenden, etwa in einem eigenen Referenzarm, in den das Referenzlicht über einen Strahlteiler gelenkt wird, oder durch das Einsetzen eines teilreflektierenden Fensters in die auf den Träger gerichtete Beleuchtungsoptik. Solche Ausgestaltungen sind zweckmäßig, wenn z.B. durch Verschmutzung Alterung oder mechanische Beanspruchung mit einer Schädigung der sonst als Referenzspiegel gedachten Ebene des Trägers zu rechnen ist.
20

Sobald das Streuvermögen bzw. die Reflektivität als Funktion der Schichttiefe $S(z)$ in digitalisierter Form zur Verfügung steht, ist die Übersetzung dieser Funktion durch eine Transkriptionseinheit – Rechner mit gängiger Software – in einen Zahlenstring in nahe liegender Weise zu erreichen.
25

Heutige Interferometer-Tomographen sind in der Lage, einen Markierungsbereich von bis zu 2 mm bei einer Schichtauflösung von 10 μm zu scannen. Daraus ergibt sich eine theoretisch erzielbare Länge des Barcodes von 200 Bit, was deutlich mehr ist als etwa die erforderlichen 95 Bit des Universal Product Code (UPC). Auf die genaue Position des Barcodes
30 im Markierungsbereich des Trägers kommt es nicht an, ebenso wenig auf die charakteristische Breite D des Markierungsbereichs, die sich an der Beleuchtungsoptik zu orientieren hat, und nur wenige 10 μm betragen muss. Die absoluten Abstände dH benachbarter

Schichten – Bars – im Markierungsbereich sind ebenfalls unwesentlich, sofern sie die Auflösung des benutzten interferometrischen Verfahrens nicht unterschreiten und innerhalb geringer Toleranzen über den ganzen Barcode konstant bleiben. Es ist mit gängigen Verfahren kein Problem, die Transkriptionseinheit so zu programmieren, dass relative Verschiebungen und Verzerrungen von Tiefen-Barcodes zueinander automatisch erkannt und korrekt kompensiert werden.

Besonders vorteilhaft am erfindungsgemäßen Verfahren ist die Möglichkeit, sogar optisch unsichtbare Sicherheitsmarkierungen zu identifizieren. Wählt man nämlich ein im sichtbaren Spektrum undurchlässiges Trägermaterial, das wiederum z.B. im Infraroten teildurchlässig ist, so können Markierungen unter der Oberfläche immer noch gelesen werden, wenn man nur a priori weiß, ob und wo genau welche vorhanden sind.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Lesen eines sich in die Tiefe eines Trägers erstreckenden Barcodes
mittels optischer Interferenz, wobei der Barcode durch einen Bereich mit Markie-
rungen in dem für elektromagnetische Strahlung teildurchlässigen Träger repräsen-
tiert wird, gekennzeichnet durch Beleuchten des Trägers mit Licht kurzer Kohärenz-
länge aus einer breitbandigen Lichtquelle, Aufteilen des Lichts in Referenz- und
Messlicht, Rückführen von Referenzlicht und von im Markierungsbereichs rückge-
streutem bzw. reflektiertem Messlicht in eine Analyseeinheit, Ermitteln des Rück-
streuvermögens bzw. der Reflektivität des Trägers für alle Schichttiefen im Markie-
rungsbereich aus der Interferenz von Referenz- und Messlicht und Interpretieren des
Ergebnisses als Barcode.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Überlagerung von
Referenz- und Messlicht in der Analyseeinheit ein räumliches Interferenzmuster er-
zeugt, dessen Lichtintensitätsverteilung mit einer in der Analyseeinheit angeordneten
Detektionseinheit gemessen wird, und dass eine Auswerteeinheit hieraus das tiefen-
abhängige Streuvermögen des Trägers ermittelt.
3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass nach Überlagerung von
Referenz- und Messlicht mit einem in der Analyseeinheit angeordneten Spektrometer
eine räumlich spektral zerlegte Intensitätsverteilung erzeugt wird, die mit einer in
der Analyseeinheit befindlichen Detektionseinheit gemessen wird, und dass eine
Auswerteeinheit hieraus das tiefenabhängige Streuvermögen des Trägers ermittelt.
4. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass
das Aufteilen des Lichts in Referenz- und Messlicht durch einen Strahlteiler erfolgt,
der das Referenzlicht auf einen Spiegel lenkt.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass das
Aufteilen des Lichts in Referenz- und Messlicht durch Teilreflexion des Beleuch-
tungslichts in einer vorab gewählten Ebene im Strahlengang des auf die Probe ge-
richteten Beleuchtungslichts erfolgt.

6. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass die vorab gewählte Ebene Bestandteil des Trägers, insbesondere seine Oberfläche, ist.

5 7. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Licht nicht sichtbares IR-Licht ist.

8. Verfahren nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet das Frequenzspektrum des Beleuchtungslichts so eingerichtet ist, dass ein für sichtbares Licht undurchlässiger Träger für das Beleuchtungslicht wenigstens teildurchlässig ist.

10

9. Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach Anspruch 1, gekennzeichnet durch eine breitbandige Lichtquelle, eine optische Anordnung zur Beleuchtung des Trägers, Mittel zur Aufteilung des Beleuchtungslichts in Referenz- und Messlicht, eine Analyseeinheit umfassend eine Detektionseinheit für Licht sowie Mittel zur Rückführung von Mess- und Referenzlicht vom Träger in die Analyseeinheit, eine rechnergestützte Auswerteeinheit zur Verarbeitung der Messdaten aus der Analyseeinheit und eine Transkriptionseinheit, die das Ergebnis der Auswerteeinheit als Barcode interpretiert und zur digitalen Weiterverarbeitung aufbereitet.

15

20

10. Vorrichtung nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass die Detektionseinheit aus nebeneinander angeordneten, lichtempfindlichen Elementen besteht, die der einfallenden Lichtintensität proportionale elektrische Signale erzeugen.

25

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No
PCT/DE2004/000508

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
IPC 7 G06K19/06 G06K7/10

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
IPC 7 G06K

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the International search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal, PAJ, WPI Data, INSPEC

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	WO 02/084263 A (KOCH PETER ; WOSNITZA MARTIN (DE); MEDIZINISCHES LASERZENTRUM LUE (DE)) 24 October 2002 (2002-10-24) cited in the application abstract; figure 7	1-10
A	DE 43 09 056 A (HAEUSLER GERD ; NEUMANN JOCHEN (DE); HERRMANN JUERGEN (DE)) 22 September 1994 (1994-09-22) cited in the application the whole document	1-10
A	US 5 129 974 A (AURENIUS CARL A D) 14 July 1992 (1992-07-14) abstract; figures 10,11	1
A	US 4 794 238 A (HAMPTON GORDON P) 27 December 1988 (1988-12-27) abstract; figure 1	1

☐ Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in annex.

* Special categories of cited documents:

A document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

E earlier document but published on or after the international filing date

L document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

O document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

P document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

T later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

X document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

Y document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

S document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

9 July 2004

Date of mailing of the international search report

21/07/2004

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Koegler, L

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/DE2004/000508

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
WO 02084263	A	24-10-2002	DE 10118760 A1 WO 02084263 A1 EP 1379857 A1	31-10-2002 24-10-2002 14-01-2004
DE 4309056	A	22-09-1994	DE 4309056 A1	22-09-1994
US 5129974	A	14-07-1992	NONE	
US 4794238	A	27-12-1988	NONE	

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/DE2004/000508

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
IPK 7 G06K19/06 G06K7/10

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
IPK 7 G06K

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)
EPO-Internal, PAJ, WPI Data, INSPEC

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	WO 02/084263 A (KOCH PETER ; WOSNITZA MARTIN (DE); MEDIZINISCHES LASERZENTRUM LUE (DE)) 24. Oktober 2002 (2002-10-24) in der Anmeldung erwähnt Zusammenfassung; Abbildung 7	1-10
A	DE 43 09 056 A (HAEUSLER GERD ; NEUMANN JOCHEN (DE); HERRMANN JUERGEN (DE)) 22. September 1994 (1994-09-22) in der Anmeldung erwähnt das ganze Dokument	1-10
A	US 5 129 974 A (AURENIUS CARL A D) 14. Juli 1992 (1992-07-14) Zusammenfassung; Abbildungen 10,11	1
A	US 4 794 238 A (HAMPTON GORDON P) 27. Dezember 1988 (1988-12-27) Zusammenfassung; Abbildung 1	1

☐ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen

☒ Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

A Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

E älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

L Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

O Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

P Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

T Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

X Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

Y Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

G Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

9. Juli 2004

Absenddatum des internationalen Recherchenberichts

21/07/2004

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Koegler, L

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/DE2004/000508

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung
WO 02084263	A	24-10-2002	DE	10118760 A1	31-10-2002
			WO	02084263 A1	24-10-2002
			EP	1379857 A1	14-01-2004
DE 4309056	A	22-09-1994	DE	4309056 A1	22-09-1994
US 5129974	A	14-07-1992	KEINE		
US 4794238	A	27-12-1988	KEINE		